

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**





①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 197 42 366 C 1

⑥ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 01 R 33/09  
H 01 F 10/00

⑲ Aktenzeichen: 197 42 366.3-35  
⑳ Anmeldetag: 25. 9. 97  
㉑ Offenlegungstag: -  
㉒ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 27. 5. 99

DE 197 42 366 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Siemens AG, 80333 München, DE

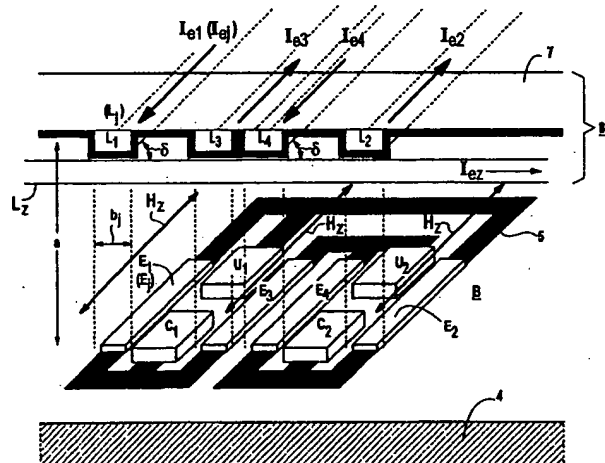
⑦② Erfinder:  
Berg, Hugo van den, Dr., 91074 Herzogenaurach, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 1 95 20 206 A1  
DE 1 95 20 178 A1  
DE 1 95 20 172 A1  
DE 1 95 07 303 A1  
DE 42 43 357 A1  
DE 42 32 244 A1  
EP 04 83 373 A1  
WO 94 15 223 A1

⑤④ Einrichtung mit magnetoresistivem Sensorelement und zugeordneter Magnetisierungsvorrichtung

⑤⑦ Die Einrichtung umfaßt ein GMR-Sensorelement ( $E_j$ ) sowie eine Magnetisierungsvorrichtung (8). Diese Vorrichtung soll stromführende, magnetische Einstellfelder erzeugende Leiterbahnen ( $L_1$ ,  $L_2$ ) aufweisen, die sich untereinander kreuzen. Mit einer der Leiterbahnen ( $L_2$ ) wird dabei ein oszillierendes, abklingendes Zusatzfeld ( $H_z$ ) hervorgerufen.



DE 197 42 366 C 1

Die Erfindung geht aus von einer Einrichtung mit mindestens einem Sensorelement zur Erfassung der Richtung eines äußeren Magnetfeldes, wobei das Sensorelement ein einen sehr großen magnetoresistiven Effekt (GMR) zeigendes Mehrschichtensystem aufweist, gemäß den im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen.

Eine entsprechende Einrichtung mit magnetoresistivem Sensor und Magnetisierungsvorrichtung geht aus der DE 195 20 178 A1 hervor.

In Schichten aus ferromagnetischen Übergangsmetallen wie Ni, Fe oder Co und deren Legierungen kann eine Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von der Größe und der Richtung eines das Material durchdringenden Magnetfeldes gegeben sein. Den bei solchen Schichten auftretenden Effekt nennt man "anisotropen Magnetowiderstand (AMR)" oder "anisotropen magnetoresistiven Effekt". Er beruht physikalisch auf den unterschiedlichen Streuquerschnitten von Elektronen mit verschiedenem Spin und der Spinpolarität des D-Bandes. Die Elektronen werden als Majoritäts- bzw. Minoritätselektronen bezeichnet. Für entsprechende magnetoresistive Sensoren wird im allgemeinen eine dünne Schicht aus einem solchen magnetoresistiven Material mit einer Magnetisierung in der Schichtebene vorgesehen. Die Widerstandsänderung bei Drehung der Magnetisierung bezüglich der Richtung eines über den Sensor geleiteten Stromes kann dann einige Prozent des normalen isotropen (= ohm'schen) Widerstandes betragen.

Ferner sind magnetoresistive Mehrschichtensysteme bekannt, welche mehrere, zu einem Stapel angeordnete ferromagnetische Schichten enthalten, die jeweils durch metallische, nichtmagnetische Zwischenschichten voneinander getrennt sind und deren Magnetisierungen jeweils vorzugsweise in der Schichtebene liegen. Die Dicken der einzelnen Schichten sind dabei deutlich geringer als die mittlere freie Weglänge der Leitungselektronen gewählt. In derartigen Mehrschichtensystemen kann nun zusätzlich zu dem erwähnten anisotropen magnetoresistiven Effekt AMR ein sogenannter "giant-magnetoresistiver Effekt" oder "Giant-Magnetowiderstand (GMR)" auftreten (vgl. z. B. EP 0 483 373 A1). Ein solcher GMR-Effekt beruht auf der unterschiedlich starken Streuung von Majoritäts- und Minoritäts-Leitungselektronen an den Grenzflächen zwischen den ferromagnetischen Schichten und den dazu benachbarten Zwischenschichten sowie auf Streueffekten innerhalb dieser Schichten. Der GMR-Effekt ist dabei ein isotroper Effekt. Er kann erheblich größer sein als der anisotrope Effekt AMR. Im allgemeinen spricht man von einem GMR-Effekt (bei Raumtemperatur), wenn er Werte annimmt, die deutlich über denen von AMR-Einschichtelementen liegen.

In einem GMR-Effekt zeigenden Mehrschichtensystemen sind benachbarte magnetische Schichten zunächst irgendwie zueinander magnetisiert, wobei bei speziellen Ausführungsformen eine Biasschicht bzw. eine Biasschichtanordnung magnetisch härter als eine möglichst weichmagnetische Meßschicht ist. Unter Einfluß eines äußeren, gerichteten Magnetfeldes, d. h. einer in der Schichtebene ausgeprägten Komponente dieses Feldes, wird dann die Magnetisierung der weichmagnetischen Meßschicht entsprechend der Richtung des Magnetfeldes ausgerichtet, während die Ausrichtung der magnetisch härteren Biasschicht praktisch unverändert bleibt. Dabei bestimmt der Winkel zwischen den Magnetisierungsrichtungen der beiden Schichten den Widerstand des Mehrschichtensystems. Bei entsprechenden Magnetfeldsensoren wird diese Tatsache ausgenutzt.

Bei einem aus der DE 42 43 357 A1 zu entnehmenden GMR-Magnetowiderstands-Sensor sind zwei weichmagne-

tische Meßschichten zu beiden Seiten einer magnetisch härteren Biasschicht vorgesehen, wobei die beiden Meßschichten gegenüber der gemeinsamen Biasschicht jeweils durch eine nichtmagnetische Zwischenschicht abbestanden sind.

Zur Vermeidung von Domänenbildung sind die Grundzustandsmagnetisierungen der beiden Meßschichten jeweils um einen kleinen Winkel gegenüber der Normalenrichtung zur Magnetisierung der Biasschicht in unterschiedlichem Drehsinn eingestellt, so daß sie einen Winkel von etwas weniger als 180° miteinander einschließen. Dies kann durch Einprägen entsprechend zueinander geneigter Vorzugsachsen in die entsprechenden Meßschichten erreicht werden.

Bei einem aus der WO 94/15223 A1 entnehmbaren magnetoresistiven Sensor weist dessen einen GMR-Effekt zeigendes Mehrschichtensystem eine magnetische Biasschichtanordnung auf, die einen sogenannten künstlichen Antiferromagneten bildet. Hierbei enthält die Biasschichtanordnung eine erste magnetische Biasschicht, welche über eine nicht-magnetische Kopplungsschicht antiferromagnetisch an eine weitere magnetische Biasschicht angekoppelt ist. Damit läßt sich verhindern, daß sich ein Teil des Magnetflusses der einen Biasschicht über die Meßschicht schließt. Ein entsprechender künstlicher Antiferromagnet ist nach außen hin magnetisch weitgehend neutral, d. h. sein Magnetfeld schließt sich praktisch ganz zwischen der Biasschicht und der zusätzlichen Magnetschicht. Damit ergibt sich der Vorteil einer Stabilisierung der Magnetisierung der Biasschicht auch bei stärkeren äußeren Magnetfeldern.

Darüber hinaus ist zur Erhöhung der Signalstärke eines GMR-Mehrschichtensystems bekannt, eine sich periodisch wiederholende Schichtenfolge vorzusehen (vgl. z. B. DE 42 32 244 A1). Denn die Signalstärke steigt mit der Anzahl der Perioden an gleichen Schichtpaketen asymmetrisch bis zu einem Maximalwert monoton an. Die Anzahl der Perioden in einem entsprechenden Dünnschichtenaufbau kann ohne weiteres 100 oder mehr betragen.

Bei solchen GMR-Mehrschichtensystemen, die auch als Hart-Weich-Systeme wegen ihrer hartmagnetischen Biasschicht oder Biasschichtanordnung und ihrer weichmagnetischen Meßschicht bezeichnet werden, sollen die Biasschichten eine möglichst einheitliche Magnetisierung in einer vorbestimmten Richtung aufweisen. Eine entsprechende Magnetisierung kann z. B. mit einer aus der eingangs genannten DE 195 20 178 A1 zu entnehmenden Magnetisierungseinrichtung vorgenommen werden. Diese Einrichtung weist Stromleiterbahnen auf, die oberhalb von zugeordneten GMR-Mehrschichtensystemen zu positionieren sind. Mit in den Stromleiterbahnen zu führenden elektrischen Strömen sind dann Magnetfelder hervorzurufen, die zur Einstellung bzw. Einprägung der Magnetisierungen in den Biasschichten dienen. Falls diese als magnetische Grundfelder zu betrachtenden Felder nicht hinreichend stark sind, können diese Felder bei der bekannten Magnetisierungseinrichtung zusätzlich noch von der Feldstärke erhöhenden, in dieselbe Richtung wie die Grundfelder weisenden magnetischen Zusatzfeldern oder Hilfsfeldern überlagert werden.

Es zeigt sich jedoch, daß eine entsprechende Einstellung der Magnetisierung in einer Biasschicht oder Biasschichtanordnung eines GMR-Mehrschichtensystems durch eine sogenannte Rotationshysterese erschwert wird. Dies ist vor allem der Fall bei der Einstellung von Mehrschichtensystemen, die einen künstlichen Antiferromagneten aufweisen, bei denen sich mehrere Schichten in unterschiedliche Richtung orientieren müssen. Aufgrund dieser Rotationshysterese sind nämlich insbesondere folgende Abweichungen von einem gewünschten Signalverhalten des Mehrschichtensystems festzustellen:

1) Die Magnetisierungen der Biasschichten sind nicht einheitlich und sind aufgespalten in Bereiche mit entgegengesetzten Verdrehungen bezüglich einer Idealeinstellung.

2) Ein einen künstlichen Antiferromagneten bildendes Mehrschichtensystem befindet sich folglich nicht in einem Zustand minimaler Energie.

3) Demzufolge wird der Signalhub des Mehrschichtensystems geringer sein und die Kennlinie des Mehrschichtensystems von einem idealen Verlauf abweichen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Einrichtung mit den eingangs genannten Merkmalen dahingehend auszugestalten, daß man in den Biasschichten oder Biasschichtanordnungen solcher GMR-Mehrschichtensysteme einen Zustand minimaler Energie einstellen kann.

Diese Aufgabe wird ausgehend von den im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen dadurch gelöst, daß die Magnetisierungsvorrichtung neben einer ersten Einstellstrom zur Grundfelderzeugung führenden ersten Leiterbahn eine einen zweiten Einstellstrom führende zweite Leiterbahn zur Erzeugung eines innerhalb der Abklingzeit des Grundfeldes mit oszillierender Feldstärkeamplitude von einem Maximalwert auf Null abklingenden Zusatzfeldes enthält, wobei die beiden Leiterbahnen so angeordnet sind, daß sich ihre Stromführungsrichtungen unter einem Winkel ungleich 0° oder ungleich 180° kreuzen.

Es wurde nämlich erkannt, daß zum Erreichen des Zustands der minimalen Energie in einer Biasschicht oder einer Biasschichtanordnung ein zusätzliches Wechselfeld mit abnehmender Amplitude geeignet ist, das nicht in dieselbe Richtung weist wie das magnetische Grundfeld. Bei einem entsprechend behandelten Mehrschichtensystem treten dann die vorstehend erwähnten Probleme aufgrund einer Rotationshysterese vorteilhaft nur in verminderter Form oder gar nicht auf.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Einrichtung gehen aus den abhängigen Ansprüchen hervor. Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird nachfolgend auf die Zeichnung Bezug genommen. Dabei zeigen jeweils schematisch

deren Fig. 1 und 2 in Diagrammen typische Hysteresis-schleifen von magnetoresistiven Mehrschichtensystemen, deren Fig. 3 und 4 in Diagrammen zwei verschiedene Einstellfelder für eine erfindungsgemäße Einrichtung,

deren Fig. 5 eine entsprechende Einrichtung mit einer Magnetisierungsvorrichtung zur Erzeugung sowohl des Grund- als auch des Zusatzfeldes für mehrere Sensorelemente,

deren Fig. 6 eine besondere Ausführungsform eines Sensorelementes,

deren Fig. 7 eine Leitergeometrie zur Grundfeldmagnetisierung von mehreren Sensorelementen gemäß Fig. 6,

deren Fig. 8 die Leitergeometrie nach Fig. 7 mit zusätzlicher Leitergeometrie zur Erzeugung eines oszillierenden Wechselfeldes,

deren Fig. 9 eine weitere Ausführungsform einer Leitergeometrie zur Magnetisierung mehrerer Sensorelemente gemäß Fig. 6,

deren Fig. 10 eine besondere Anordnung mehrerer Sensorelemente und Stromleiterbahnen einer Magnetisierungsvorrichtung sowie

deren Fig. 11 eine Ausführungsform eines Winkeldetektors mit orthogonalen Sensorelementen.

Dabei sind in den Figuren sich entsprechende Teile jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen.

Eine erfindungsgemäße Einrichtung umfaßt wenigstens

ein besonderes magnetoresistives Sensorelement sowie eine diesem Sensorelement zugeordnete Magnetisierungsvorrichtung. Diese Magnetisierungsvorrichtung kann dabei zusammen mit dem Sensorelement ein gemeinsames Bauteil bilden (vgl. z. B. DE 195 20 206 A1). Daneben ist es auch möglich, das Sensorelement und Magnetisierungsvorrichtung als getrennte Bauteile ausgeführt sind (vgl. DE 195 20 178 A1 oder DE 195 20 172 A1). In jedem Falle umfaßt das Sensorelement wenigstens ein für ein GMR-Element typisches Mehrschichtensystem. Der Aufbau eines entsprechenden, in Dünnschichttechnik auf einem Substrat zu erstellenden Mehrschichtensystems ist an sich bekannt (vgl. z. B. EP 0 483 373 A1 oder die DE 42 32 244 A1 oder 42 43 357 A1 oder die WO 94/15223 A1). Das Mehrschichtensystem weist mindestens eine magnetische verhältnismäßig harte Biasschicht oder eine mehrere Schichten umfassende Biasschichtanordnung auf, mindestens eine darauf aufgetragene, entkoppelnd wirkende Zwischenschicht sowie mindestens eine auf dieser Schicht abgeschiedene magnetfeldempfindliche, magnetisch möglichst weiche Meßschicht auf. An dem Mehrschichtensystem sind Anschlußkontakte zum Führen eines vorgesehenen Stroms über das System angebracht. Dieser Aufbau kann noch mit einer Schutzschicht überzogen sein.

Vorteilhaft kann der schichtförmige Aufbau des GMR-Mehrschichtensystems auch als sogenanntes Multischichtensystem ausgeführt sein. Ein solches System zeichnet sich dadurch aus, daß es neben dem vorstehend erläuterten Schichtensystem noch weitere Schichten oder Schichtpakete enthält und gegebenenfalls eine Folge von periodisch wiederkehrenden Schichten besitzt (vgl. z. B. WO 94/15223 A1).

Der Widerstand eines solchen GMR-Mehrschichtensystems hängt dann von der relativen Orientierung der Magnetisierung der Meßschicht gegenüber der der Biasschichtanordnung ab. Die Änderung dieses Widerstandes läßt sich ausnutzen, um die Richtung eines angelegten Magnetfeldes und so z. B. Drehpositionen oder absolute Positionen zu bestimmen (vgl. auch WO 94/17426). Diese Widerstandsänderung legt die Größe  $\Delta R_r$  des magnetoresistiven Effektes fest. Die Größe  $\Delta R_r$  ist dabei folgendermaßen definiert:

$$\Delta R_r = [R(\uparrow\downarrow) - R(\uparrow\uparrow)]/R(\uparrow\uparrow).$$

Wegen der Feldrichtungsempfindlichkeit der GMR-Mehrschichtensysteme stellt der magnetoresistive Effekt  $\Delta R_r$  den Unterschied des Widerstandes zwischen der antiparallelen und der parallelen Magnetisierungsausrichtung der Meßschicht bezüglich der Biasschicht bzw. einer entsprechenden Biasschichtanordnung dar. In der vorstehend aufgeführten Gleichung ist die gegenseitige Ausrichtung der Magnetisierung der Meßschicht und der Biasschicht durch die Ausrichtung der Pfeile veranschaulicht. Im allgemeinen wird ein magnetoresistiver Effekt als GMR-Effekt angesehen, wenn die Größe  $\Delta R_r$  mindestens 2% (bei Raumtemperatur) beträgt und insbesondere erheblich darüber liegt. Nachfolgend sei davon ausgegangen, daß ein Mehrschichtensystem aufweisende magnetoresistive Sensorelemente als GMR-Sensorelemente mit GMR-Effekt zu betrachten sind, wenn sie alternierend magnetische und nicht-magnetische Schichten aufweisen, wobei deren Schichtdicken kleiner als die mittlere freie Weglänge der Elektronen sind. Entsprechende Sensorelemente, deren Mehrschichtensysteme magnetisch härtere zusammen mit magnetisch weicheren Schichten umfassen, werden vielfach auch als "Spin Valve" (Spin-Ventil) bezeichnet.

Die Biasschichten solcher GMR-Mehrschichtensysteme sollen eine möglichst einheitliche Magnetisierung in einer

vorbestimmten Richtung aufweisen. Die entsprechende Einstellung wird erschwert durch die Rotationshysterese. Dies ist vor allem der Fall bei der Einstellung von Systemen mit künstlichem Antiferromagneten (vgl. die genannte WO 94/15223 A1), in denen sich mehrere ferromagnetische Schichten in unterschiedliche Richtung orientieren müssen. Aus den Diagrammen der Fig. 1 und 2 ist dies erkennbar. In diesen Diagrammen ist jeweils in Abszissenrichtung die Feldstärke  $H$  (in willkürlichen Einheiten) und in Ordinatenrichtung die magnetische Induktion  $M$  (in willkürlichen Einheiten) aufgetragen. Als Mehrschichtensystem ist ein System mit einem künstlichen Antiferromagneten zugrundegelegt, das in seiner einfachsten Ausführungsform zwei ferromagnetische Schichten aufweist, die über eine nichtmagnetische Zwischenschicht gekoppelt sind. Für die Diagramme der Fig. 1 und 2 ist jedoch ein Mehrschichtensystem 30 mit einem künstlichen Antiferromagneten AAF ("Artificial Antiferromagnet") angenommen, der drei ferromagnetische (Bias-) Schichten 1, 2 und 3 aufweist, zwischen denen jeweils eine nicht-magnetische Koppelschicht 31 bzw. 32 angeordnet ist. Die Schichten 1 bis 3 bestehen aus verhältnismäßig hartmagnetischem Material wie z. B. Co und die Koppelschichten 31 und 32 z. B. aus Cu. Dem künstlichen Antiferromagneten AAF sind beidseitig zwei äußere weichmagnetische Meßschichten 33 und 34 z. B. aus Ni-Fe (wie "Permalloy") zugeordnet, die jeweils von dem künstlichen Antiferromagneten AAF über entkoppelnde Zwischenschichten 35 und 36 z. B. aus Cu getrennt sind. Für ein entsprechendes Magnetschichtensystem muß es eine Unbilanz in den magnetischen Momenten der drei Magnetschichten 1 bis 3 geben. Dabei sei nachfolgend angenommen, daß gilt:

$$D_1 M_1 + D_3 M_3 > D_2 M_2$$

mit  $D_1 \approx D_3$ .

$M_i$  und  $D_i$  sind die Sättigungsmagnetisierung bzw. Dicke der Magnetschicht  $i$ . In Fig. 1 ist die Idealkurve ohne Rotationshysterese dargestellt. Dabei sind die magnetischen Momente der einzelnen Magnetschichten durch Pfeile mit der jeweiligen Nummer der Schicht angedeutet. Auf der Idealkurve gibt es zwei charakteristische Feldstärkewerte  $H_p$  und  $H_s$ , die den schrägen Teil der Hysteresiskurve begrenzen. Die Werte sind für Systeme mit isotropen Materialien bzw. isotropem Verhalten durch folgende Ausdrücke bestimmt:

$$H_s = -J (2D_1 M_1 + D_2 M_2) / (D_1 M_1 D_2 M_2)$$

$$H_p = -J (2D_1 M_1 - D_2 M_2) / (D_1 M_1 D_2 M_2)$$

$J$  ist dabei die magnetische Polarisation. Zu bedenken ist hierbei, daß Biassysteme ohne Rotationshysterese zwecklos sind, weil sie keine Stabilität der Biasschichtmagnetisierung bieten. An der gezeigten Hysteresiskurve ist ferner an dem Feldstärkewert  $H_s$  angegeben, daß bei der magnetischen Sättigung eine parallele Magnetisierungsausrichtung aller drei Magnetschichten 1 bis 3 des Mehrschichtensystems vorhanden ist. Demgegenüber ist bei einem Feldstärkewert  $H_p$ , der betragsmäßig kleiner als  $|H_s|$  ist, die Magnetisierungsrichtung der mittleren ferromagnetischen Schicht 2 gegenüber den beiden äußeren Magnetschichten 1 und 3 antiparallel verlaufend. Zwischen den Werten  $H = 0$  und  $H = H_p$  verläuft die Hysteresiskurve annähernd plateauartig.

In dem Diagramm der Fig. 2 ist ein Magnetfeldbereich A angedeutet, in dem ein entsprechendes Mehrschichtensystem stabil arbeiten kann. Wie aus einem Vergleich der Diagramme der Fig. 1 und 2 hervorgeht, ist eine Rotationshysterese notwendig. Dabei ist der Arbeitsbereich A durch die Plateauwerte  $|H_p|$  begrenzt, wo die Magnetisierung der mitt-

leren Schicht derjenigen der äußeren Schichten entgegengesetzt gerichtet ist. In dem Plateau sollten die Momente der Biasschichten zumindest annähernd genau parallel zum Einstellfeld ausgerichtet sein. Eine schematische Darstellung der Orientierung der Momente im Fall der Rotationshysterese ist in der Figur ebenfalls angedeutet. Die Rotationshysterese bedingt dabei, daß die Magnetisierungen der Biasschichten nicht einheitlich sind und in dem Arbeitsbereich von der Idealeinstellung abweichen. D. h., das Magnetschichtensystem befindet sich zunächst nicht in einem Zustand minimaler Energie.

Um diesen Zustand minimaler Energie zu erreichen, wird zur Einstellung der Magnetisierung der Biasschichten zusätzlich ein magnetisches Wechselfeld mit abnehmender Amplitude angelegt. D. h., das magnetische Einstellfeld weist ein Grundfeld auf, das zusätzlich von einem Wechselfeld (= Zusatzfeld) überlagert wird. Beide Felder sollen dabei in an sich bekannter Weise von einem vorbestimmten Maximalwert auf Null abklingen. Dabei ist es vorteilhaft, wenn das Wechselfeld zumindest annähernd senkrecht zum Grundfeld gerichtet ist. Auf alle Fälle sollten aber die Richtungen des Wechselfeldes und des Grundfeldes gegenüber einer parallelen oder antiparallelen Ausrichtung einen Winkel  $\gamma$  von mindestens  $30^\circ$  einschließen. In den Fig. 3 und 4 sind entsprechende  $90^\circ$ -Feldausrichtungen zugrundegelegt. Die Figuren zeigen zwei verschiedene Möglichkeiten der Überlagerung der beiden Feldkomponenten, wobei das Grundfeld mit  $H_g$ , das Wechsel- oder Zusatzfeld mit  $H_z$  und die Feldstärkeamplitude des Zusatzfeldes mit  $h$  bezeichnet sind.

Gemäß Fig. 3 klingt das Grundfeld  $H_g$  von einem Wert oberhalb  $H_s$  bis zu einem Wert unterhalb von  $H_p$  (vgl. Fig. 1 und 2). Das Wechselfeld  $H_z$  ist Null während dieser Phase. Zwischen einem Zeitpunkt  $t = t_1$  und einem Zeitpunkt  $t = t_2$  ist das Grundfeld  $H_g$  konstant und das zusätzliche Wechselfeld  $H_z$  wird eingeschaltet. Nach dem Abklingen des Wechselfeldes  $H_z$  wird dann  $H_g$  auf Null reduziert.

Fig. 4 zeigt eine weitere Möglichkeit. In diesem Fall ist das Wechselfeld  $H_z$  schon während der Abklingphase des Grundfeldes  $H_g$  eingeschaltet.

Magnetisierungsvorrichtungen gemäß den Fig. 3 und 4 erfordern also zwei getrennte Feldquellen zur Erzeugung des Grundfeldes und des Wechselfeldes (= Zusatzfeld) des magnetischen Einstellfeldes.

Bei den vorstehend zugrundegelegten Ausführungsbeispielen wurde davon ausgegangen, daß die Biasschicht oder Biasschichtenanordnung eines einzigen GMR-Mehrschichtensystems mittels eines magnetischen Grundfeldes zu magnetisieren ist, das von einem zusätzlichen magnetischen Wechselfeld überlagert ist. Selbstverständlich können in entsprechender Weise auch mehrere GMR-Mehrschichtensysteme gleichzeitig magnetisiert werden. Fig. 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer entsprechenden Magnetisierungsvorrichtung, mit der gleichzeitig in mehrere Mehrschichtensystemen antiparallele Biassmagnetisierungen einzuprägen sind. Dabei wird von einer Wheatstone'schen Brücke B mit vier jeweils mindestens ein GMR-Mehrschichtensystem aufweisenden Sensorelementen  $E_1$  bis  $E_4$  gemäß der genannten DE 195 20 178 A1 ausgegangen. Die vier streifenförmig gestalteten Sensorelemente  $E_1$  bis  $E_4$  sind parallel nebeneinander auf einem gemeinsamen Substrat 4 angeordnet. Sie können vorzugsweise gleichen Schichtaufbau und gleiche Geometrie haben. Untereinander und mit Kontaktierungsflächen sind diese Sensorelemente an Anschlußpunkten  $C_1$ ,  $C_2$  und  $U_1$ ,  $U_2$ , sogenannten Kontaktpads, mittels Kontaktbahnen 5 zu der Brücke B verschaltet. Jedem Sensorelement  $E_j$  ist eine Leiterbahn  $L_j$  (mit  $1 \leq j \leq 4$ ) an der Unterseite eines Leiterbahnträgers 7 einer allgemein mit 8

bezeichneten Magnetisierungsvorrichtung 8 zugeordnet. Diese Leiterbahnen  $L_j$  können zusätzlich mit einer Isolatorschicht 9 versehen sein, um Kurzschlüsse zwischen benachbarten Leiterbahnen auszuschließen. Die Lage der einzelnen Leiterbahnen  $L_j$  an dem Leiterbahnträger 7 ist dabei so gewählt, daß bei einem Heranführen der Magnetisierungsvorrichtung 8 an die Sensorelemente  $E_j$  die einzelnen Leiterbahnen  $L_j$  genau parallel zu den jeweils zugeordneten Sensorelementen  $E_j$  unter Einhaltung eines sehr geringen Abstandes  $a$  verlaufen. Die einzelnen Leiterbahnen  $L_1$  bis  $L_4$  mit beispielsweise gleichen Leiterbahnbreiten  $b_j$  sind von (ersten) Einstellströmen  $I_{e1}$  bis  $I_{e4}$  in den durch Pfeile angeordneten Stromflußrichtungen durchflossen. Wie aus der Figur hervorgeht, verlaufen die Einstellströme  $I_{e1}$  und  $I_{e4}$  in die gleiche Richtung und antiparallel zu den Einstellströmen  $I_{e2}$  und  $I_{e3}$ . Mit den einzelnen Einstellströmen  $I_{ej}$  wird in den zugeordneten Sensorelementen  $E_j$  das jeweilige magnetische Grundfeld  $H_g$  des Einstellfeldes erzeugt. Das erfindungsgemäße, oszillierende magnetische Zusatzfeld  $H_z$  soll vorzugsweise orthogonal zu den durch die (ersten) Einstellströme hervorgerufenen Grundfeldern verlaufen. Es wird in entsprechender Weise durch besondere Leiterbahnen  $L_z$  erzeugt, die mit den Leiterbahnen  $L_j$  einen entsprechenden Winkel  $\delta$  von vorzugsweise  $90^\circ$  einschließen. Von diesen Leiterbahnen  $L_z$  ist in der Figur nur eine einzige angedeutet, die die Leiterbahnen  $L_j$  unter dem rechten Winkel  $\delta$  kreuzt. In dieser Leiterbahn  $L_z$  wird ein das oszillierende Wechselfeld  $H_z$  hervorrunder (zweiter) Einstellstrom  $I_{ez}$  geführt.

Fig. 6 zeigt eine an sich bekannte Ausführungsform (vgl. z. B. die DE 195 07 303 A1) für ein Sensorelement einer erfindungsgemäßen Einrichtung. Dieses Element setzt sich aus mehreren, in Führungsrichtung eines Sensorstromes  $I_0$  langgestreckten, streifenförmigen Teilstücken  $e_a$  eines GMR-Mehrschichtensystems zusammen. Diese gemäß Fig. 6 beispielsweise fünf Teilstücke haben jeweils eine vorbestimmte axiale Ausdehnung  $S_a$  und eine vorbestimmte Breite  $B_a$  und sind parallel nebeneinander unter Ausbildung eines gegenseitigen Zwischenraums der Weite  $w$  angeordnet. Sie sind in Stromführungsrichtung gesehen mäanderförmig mittels Kontaktbrücken  $k$  hintereinandergeschaltet, wobei diese Kontaktbrücken vorteilhaft von den Enden der Teilstücke  $e_a$  beabstandet sind. Die Kontaktbrücken lassen sich dadurch realisieren, daß sowohl die Teilstücke als auch die Kontaktbrücken durch entsprechende Strukturierung, beispielsweise mittels Elektronenstrahlolithographie, aus einem gemeinsamen flächenhaften Schichtaufbau eines GMR-Mehrschichtensystems herausgearbeitet werden. In der Figur sind ferner unmagnetische Stromanschlußbahnen des Sensorelements  $E_j$  mit 10 sowie die Magnetisierungsbzw. Bezugsrichtungen der Biasschichten der einzelnen Teilstücke mit  $m_a$  bezeichnet. Die Vorteile der in der Figur angedeuteten Ausführungsform sind zum einen darin zu sehen, daß ein gewünschtes Impedanzniveau von einigen  $k\Omega$  erreichbar ist. Zum anderen läßt sich durch eine vorbestimmte Geometrie und durch eine aufgeprägte Vorzugsrichtung in den Meßschichten ein isotropes Magnetisierungsverhalten einstellen. Ein weiterer Vorteil der gezeigten Geometrie ist, daß die Streifenform zu einer Stabilisierung der Magnetisierung in den Biasschichten beitragen kann.

Bei Sensorelementen einer erfindungsgemäßen Einrichtung müssen in ihren Biasschichten oder Biasschichtanordnungen auf engem Raum Magnetisierungen mit verschiedener Ausrichtung eingepreßt werden können. Vorteilhaft lassen sich hierzu nicht nur Magnetisierungsvorrichtungen gemäß der DE 195 20 178 A1 (vgl. Fig. 5) vorsehen, sondern auch Ausführungsformen, die auf Gestaltungsmerkmalen gemäß der DE 195 20 172 A1 oder DE 195 20 206 A1 basieren. Ihre Stromleiterbahnen können demnach entweder

direkt oder isoliert auf dem jeweiligen Mehrschichtensystem aufgebracht und mit diesem verbunden sein oder auch getrennt von diesem Mehrschichtensystem oberhalb dieses positioniert werden. Eine mögliche Ausführungsform entsprechender Leiterbahnen, wie sie für alle der genannten Magnetisierungsvorrichtungen geeignet ist, ist in Fig. 7 dargestellt. Dabei ist davon ausgegangen, daß in zwei Gruppen G1 und G2 von in der Figur nicht dargestellten Sensorelementen, wie sie insbesondere für  $360^\circ$ -Winkeldetektoren erforderlich sind, Magnetisierungen eingepreßt werden sollen, wobei die Magnetisierungsrichtung der Elemente der ersten Gruppe orthogonal zu der Magnetisierungsrichtung der zweiten Gruppe verläuft. Entsprechend magnetisierte Sensorelemente sind beispielsweise für  $360^\circ$ -Winkeldetektoren erforderlich. Jedes Sensorelement soll dabei entsprechend der Ausführungsform nach Fig. 6 ausgebildet sein. Jeweils zwei hintereinandergeschaltete Sensorelemente weisen senkrecht zueinander stehende Magnetisierungen auf. In der Figur sind von einer Magnetisierungsvorrichtung 11 vier Stromleiterbahnen 12<sub>j</sub> ersichtlich, welche die Mehrschichtensysteme der einzelnen Sensorelemente abdecken. Die Stromleiterbahnen 12<sub>j</sub> weisen dabei im Bereich der einzelnen Sensorelemente Streifenleiter 12a auf, die jeweils oberhalb eines zugeordneten Teilstückes ( $e_a$  gemäß Fig. 6) eines Sensorelementes verlaufen. Im Bereich der Sensorelemente sind die Streifenleiter 12a parallelgeschaltet. Der über die Stromleiterbahn zu führende (erste) Einstellstrom zur Erzeugung der jeweiligen magnetischen Grundfelder ist mit  $I_{ej}$  bezeichnet.

Zur Erzeugung des magnetischen Zusatzfeldes ist eine entsprechende zusätzliche Leitergeometrie erforderlich. Fig. 8 zeigt dementsprechend eine entsprechende Ausführungsform von orthogonal zueinander verlaufenden Stromleiterbahn 12<sub>j</sub> zur Grundfelderzeugung und 13<sub>j</sub> zur Zusatzfelderzeugung.

Bei der in Fig. 8 angedeuteten Ausführungsform einer Magnetisierungsvorrichtung 11 mit zwei orthogonalen Stromleiterbahnen 12<sub>j</sub> und 13<sub>j</sub> kann das Problem auftreten, daß im Bereich der Verbindungsstellen zwischen den einzelnen Sensorelementen die Stromdichte verhältnismäßig groß ist. Dann sind aber die maximal erreichbaren Stromdichten und folglich die maximal erreichbaren Feldstärken entsprechend gering. Die Ursache hierfür ist in der Stromführung in den genannten Bereichen in zwei orthogonalen Richtungen zu sehen, wobei sich der Strom von verhältnismäßig schmalen streifenförmigen Anschlußstücken 15a bzw. 16a (vgl. die Fig. 7 und 8) rechtwinklig abgelenkt auf die einzelnen Streifenleiter 12a bzw. 13a übergehen muß. Dann ist es vorteilhaft, wenn zumindest bei einer der Stromleiterbahnen 12<sub>j</sub> oder 13<sub>j</sub> der Strom den einzelnen Streifenleitern der Leiterbahn so zugeführt wird, daß er sich zumindest weitgehend gleichmäßig auf alle Streifenleiter 12a bzw. 13a verteilt. Fig. 9 zeigt eine entsprechende mögliche Ausführungsform einer Stromleiterbahn 17<sub>j</sub>, die beispielsweise die Leiterbahnen 12<sub>j</sub> ersetzen kann. Diese Stromleiterbahn 17<sub>j</sub> weist Leiterbahnstücke 17a auf, die jeweils schräg unter einem Winkel  $\beta$  von vorzugsweise höchstens  $45^\circ$  an die Teile der Leiterbahn heranführen bzw. in diese Teile übergehen, welche das zugeordnete Sensorelement abdecken. Wegen der dann in den Streifenleitern 12a zumindest weitgehend gleich großen Streifenleiterströme  $I_{ea}$  sind auch die entsprechenden magnetischen Einstellfelder einheitlich stark.

Eine Parallelschaltung einzelner, beispielsweise durch eine Schlitzung gewonnener Streifenleiter von Leiterbahnen zur Erzeugung von Magnetisierungsfeldern kann vorteilhaft auch für andere, verhältnismäßig großflächige Sensorelemente vorgesehen werden. Dadurch läßt sich nämlich prinzipiell gewährleisten, daß bei einer abgelenkten Stromfüh-

rungsrichtung bezüglich der Streifenleiterichtung (vgl. Fig. 7 und 8) der Strom in die Richtung der einzelnen Streifenleiter und nicht in eine schräg oder diagonal über die Leiterbahn verlaufende Richtung gezwungen wird. Die Magnetisierungsrichtung ist so entsprechend exakt festzulegen.

Die Leiterstücke 17a nehmen bei der Ausführungsform nach Fig. 9 jeweils eine verhältnismäßig große Fläche ein, so daß ein entsprechend großer Teil von z. B. 75% einer die Sensorelemente tragenden Substratfläche für die Anschlußleiter verlorengeht. Eine andere Ausbildungsmöglichkeit, bei der etwa 50% der Substratfläche für die Sensorelemente auszunutzen ist, geht aus Fig. 10 hervor. Hier werden die einzelnen Sensorelemente der Gruppen G1 und G2 (vgl. Fig. 7) schachbrettartig auf einem Substrat angeordnet. Die durch eine dunklere Tönung symbolisierten Sensorelemente der ersten Gruppe G1 sind dabei mit  $E_j$  und der zweiten Gruppe G2 mit  $E_j'$  gekennzeichnet. Die zugehörige Magnetisierungsvorrichtung 21 überdeckt diese Sensorelemente mit Leiterbahnen in zwei Ebenen. Die einzelnen Leiterbahnen für die Grundfelderzeugung sind mit 21a und 21a' bezeichnet, wobei die mit dem Zusatzstrich (') versehenen Bezugszeichen jeweils die Zuordnung zu den Elementen  $E_j'$  kennzeichnen. In entsprechender Weise dienen Leiterbahnen 21b und 21b' zur Zusatzfelderzeugung. Die Leiterbahnen 21a und 21b' liegen dabei in einer ersten Leiterbahnebene und sind durch eine dunklere Schraffur gekennzeichnet, während sich die übrigen Leiterbahnen 21a' und 21b in der darüberliegenden zweiten Leiterbahnebene befinden.

Mit entsprechenden Gruppen G1 und G2 läßt sich auf einfache Weise eine Wheatstone'sche Brücke realisieren. Die vier Elemente einer solche Brücke werden vorteilhaft nebeneinander angeordnet. Die zwei Paare von gleichen Sensorelementen haben entgegengesetztes Vorzeichen ihrer Empfindlichkeit, indem man die Biasschichtmagnetisierung von benachbarten Elementen entgegengesetzt ausrichtet. Dies wird erreicht, indem man den Strom von benachbarten Einstellerbahnen entgegengesetzt wählt und die Streifenleiter mäanderförmig anordnet. Eine mögliche Gestaltungsform eines entsprechenden Sensors unter Zugrundelegung von Streifenleitergeometrien gemäß den Fig. 8 und 10 ist in Fig. 11 dargestellt. Hierbei werden vorteilhaft Kreuzungen von Signalleitungen vermieden. In der Figur ist eine Brücke B gemäß Fig. 5 jedoch mit linear hintereinander angeordneten Sensorelementen angedeutet, wobei die zur Gruppe G1 gehörenden Sensorelemente  $E_1$  und  $E_4$  in einer dunkleren Tönung als die zur Gruppe G2 gehörenden Sensorelemente  $E_3$  und  $E_2$  veranschaulicht sind. Die sich mit den Sensorelementen abwechselnden Kontaktflächen  $U_1, U_2, C_1, C_2$  sind jeweils schwarz getönt wiedergegeben. Eine zweite, entsprechend dargestellte Brücke, wie sie vorteilhaft für einen 360°-Winkelsensor zu verwenden ist, trägt das Bezugszeichen B'.

#### Patentansprüche

1. Einrichtung mit
  - a) mit mindestens einem Sensorelement zur Erfassung der Richtung eines äußeren Magnetfeldes, wobei das Sensorelement ein einen sehr großen magnetoresistiven Effekt (GMR) zeigendes Mehrschichtensystem mit
    - mindestens einer weichmagnetischen Meßschicht,
    - mindestens einer Biasschicht, die gegenüber der mindestens einen Meßschicht vergleichsweise magnetisch härter ist und deren Magnetisierungsrichtung einstellbar ist,

sowie

- mindestens einer zwischen der mindestens einen Meßschicht und der mindestens einen Biasschicht angeordneten, nichtmagnetischen Zwischenschicht

aufweist

und

b) mit einer dem mindestens einen Sensorelement zugeordneten Magnetisierungsvorrichtung zur Erzeugung eines die Magnetisierung der mindestens einen Biasschicht in einer Vorzugsrichtung einprägenden magnetischen Einstellfeldes, das sich aus einem magnetischen Grundfeld und einem magnetischen Zusatzfeld zusammensetzt und von einem über die Sättigungsmagnetisierung der mindestens einen Biasschicht hinausgehenden Feldstärkewert aus abklingend einstellbar ist, wobei die Magnetisierungsvorrichtung eine einen Einstellstrom führende Leiterbahn zur Erzeugung des magnetischen Grundfeldes sowie Mittel zur Erzeugung des magnetischen Zusatzfeldes umfaßt,

dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetisierungsvorrichtung (8, 11, 21) neben einer einen ersten Einstellstrom ( $I_j$ ) zur Grundfelderzeugung ( $H_g$ ) führenden ersten Leiterbahn ( $L_j, 12_j$ ) eine einen zweiten Einstellstrom ( $I_{ez}$ ) führende zweite Leiterbahn ( $L_{ez}, 13_j$ ) zur Erzeugung eines innerhalb der Abklingzeit des Grundfeldes mitoszillierender Feldstärkeamplitude von einem Maximalwert auf Null abklingenden Zusatzfeldes ( $H_z$ ) enthält, wobei die beiden Leiterbahnen so angeordnet sind, daß sich ihre Stromführungsrichtungen unter einem Winkel ( $\delta$ ) ungleich 0° oder ungleich 180° kreuzen.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine der Leiterbahnen ( $L_j, L_{ez}$ ) mit dem ihr zugeordneten Mehrschichtensystem ein gemeinsames Bauteil bildet.

3. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine der Leiterbahnen ( $L_j, L_{ez}$ ) Teil eines von dem Mehrschichtensystem getrennten Bauteiles ist.

4. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine der Leiterbahnen ( $L_j, L_{ez}$ ) zumindest im Bereich des jeweils zugeordneten Sensorelementes ( $E_j, E_j'$ ) in mehrere elektrisch parallelgeschaltete Leiterstreifen (12a, 13a) unterteilt ist.

5. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei wenigstens einer der Leiterbahnen (17j) in den Teil von ihr, der dem jeweiligen Sensorelement ( $E_j, E_j'$ ) zugeordnet ist, ein Leiterbahnstück (17a) unter einem Winkel ( $\beta$ ) von höchstens 45° übergeht.

6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch Mittel zum Hervorrufen des Zusatzfeldes ( $H_z$ ) nach dem Abklingen des Grundfeldes ( $H_g$ ) auf einen vorbestimmten Zwischenwert ( $H_p$ ) der Feldstärke.

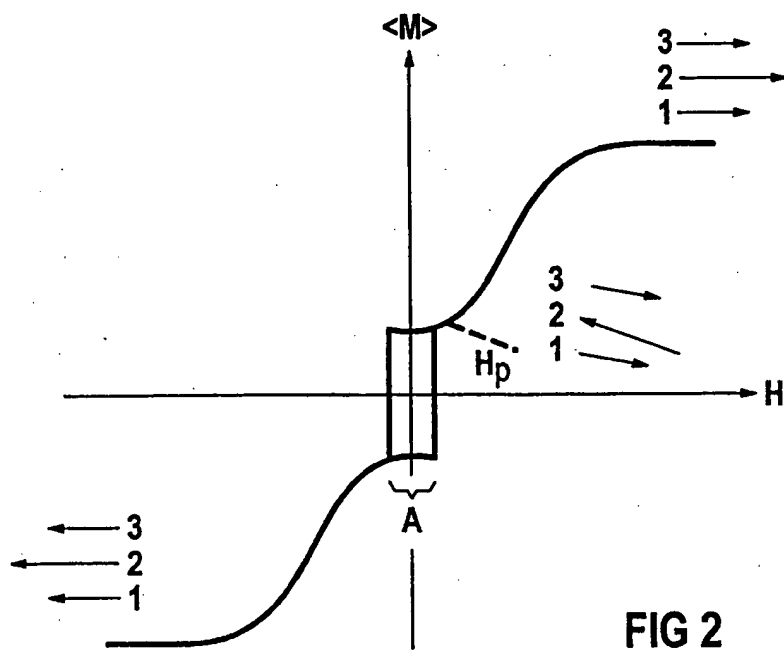
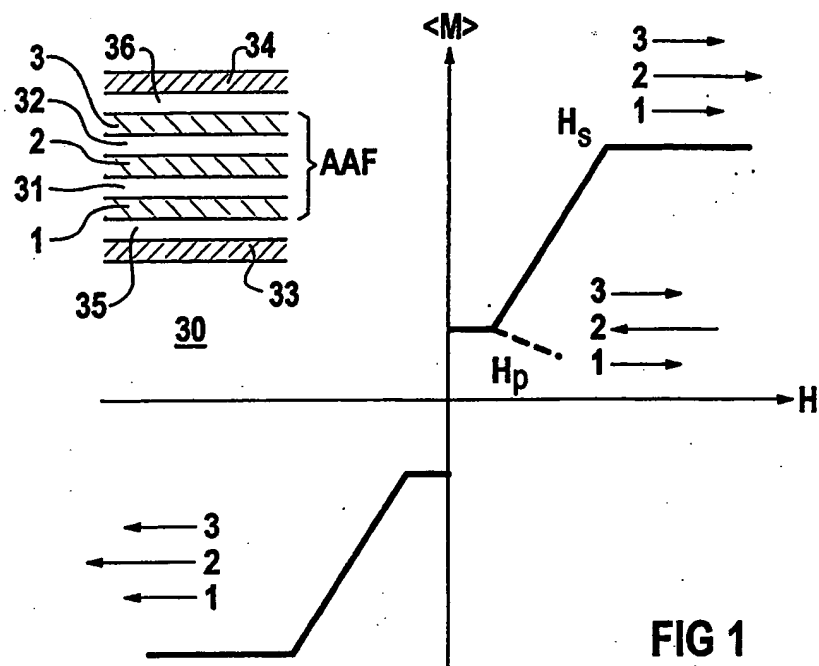
7. Einrichtung nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch Mittel zum zumindest annähernd Konstanthalten des Grundfeldes ( $H_g$ ) während der Abklingzeit des Zusatzfeldes ( $H_z$ ) auf dem Zwischenwert ( $H_p$ ) der Feldstärke.

8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch Mittel zum Hervorrufen des Zusatzfeldes ( $H_z$ ) zusammen mit dem Grundfeld ( $H_g$ ) mit zumindest annähernd gleichzeitigem Einsatzeitpunkt der beiden Felder.



9. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein Zusatzfeld ( $H_z$ ) hervorzurufen ist, das gegenüber einer parallelen oder antiparallelen Ausrichtung bezüglich des Grundfeldes ( $H_g$ ) unter einem Winkel ( $\gamma$ ) von mindestens  $30^\circ$  verläuft. 5
10. Einrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein zu dem Grundfeld ( $H_g$ ) zumindest annähernd senkrecht gerichtetes Zusatzfeld ( $H_z$ ) hervorzurufen ist.
11. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das mindestens eine Sensorelement ( $E_j$ ,  $E_j'$ ) aus mehreren streifenförmigen Teilstücken ( $e_a$ ) zusammengesetzt ist, wobei diese Teilstücke parallel zur Führungsrichtung eines Sensorstromes ( $I_0$ ) nebeneinander angeordnet und mäanderförmig elektrisch hintereinandergeschaltet sind. 10
12. Einrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilstücke ( $e_a$ ) mittels Kontaktbrücken ( $k$ ) hintereinandergeschaltet sind.
13. Einrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontaktbrücken ( $k$ ) von den Enden der jeweiligen streifenförmigen Teilstücke ( $e_a$ ) beabstandet sind. 15
14. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, gekennzeichnet durch mehrere Sensorelemente ( $E_j$ ,  $E_j'$ ), die mindestens zu einer Brücke ( $B$ ) zusammengeschaltet sind. 20
15. Einrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Brücke ( $B$ ) Gruppen ( $G1$ ,  $G2$ ) von Paaren von Sensorelementen ( $E_1$ ,  $E_4$  bzw.  $E_3$ ,  $E_2$ ) aufweist, deren Biasschichten antiparallel magnetisiert sind. 25
16. Einrichtung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorelemente ( $E_j$ ,  $E_j'$ ) schachbrettartig angeordnet sind, wobei die Elemente jeder Gruppe ( $G1$ ,  $G2$ ) eine Zeile oder eine Spalte der Schachbrettanordnung belegen und die zugeordneten Stromleiterbahnen (21a, 21a', 21b, 21b') der Magnetisierungsvorrichtung (21) in Richtung der Zeilen und Spalten verlaufen. 30
17. Einrichtung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorelemente ( $E_1$  bis  $E_4$ ) der mindestens einen Brücke ( $B$ ) linear hintereinander angeordnet sind. 40
18. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, gekennzeichnet durch mehrere Sensorelemente ( $E_j$ ,  $E_j'$ ) mit gleichem Schichtaufbau ihrer Mehrschichtensysteme (30) und gleicher Geometrie. 45
19. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßschicht (33, 34) und/oder die mindestens eine Biasschicht (1 bis 3) des Mehrschichtensystems (30) des mindestens einen Sensorelementes ( $E_j$ ,  $E_j'$ ) aus einem Schichtpaket aus mehreren Schichten gebildet sind. 50
20. Einrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß das mindestens eine Mehrschichtensystem (30) eine Biasschichtanordnung enthält, die mehrere, einen künstlichen Antiferromagneten (AAF) bildende ferromagnetische Schichten (1 bis 3) mit jeweils einer dazwischen angeordneten, nicht-magnetischen Zwischenschicht (31, 32) aufweist. 55

- Leerseite -



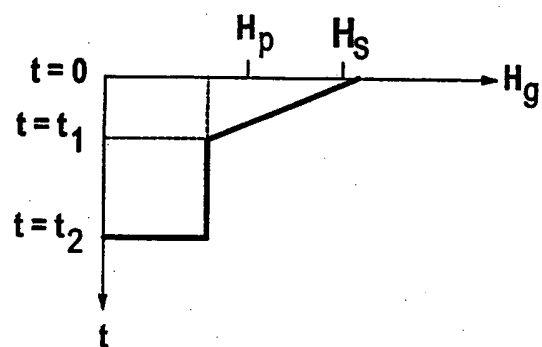
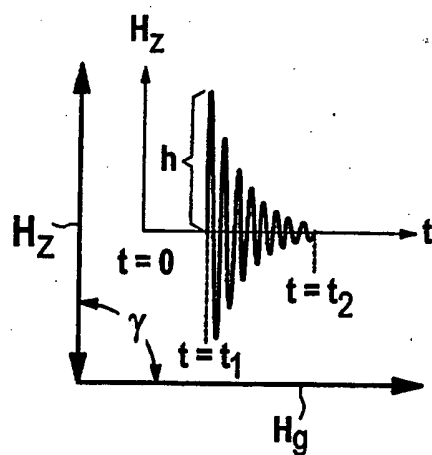


FIG 3

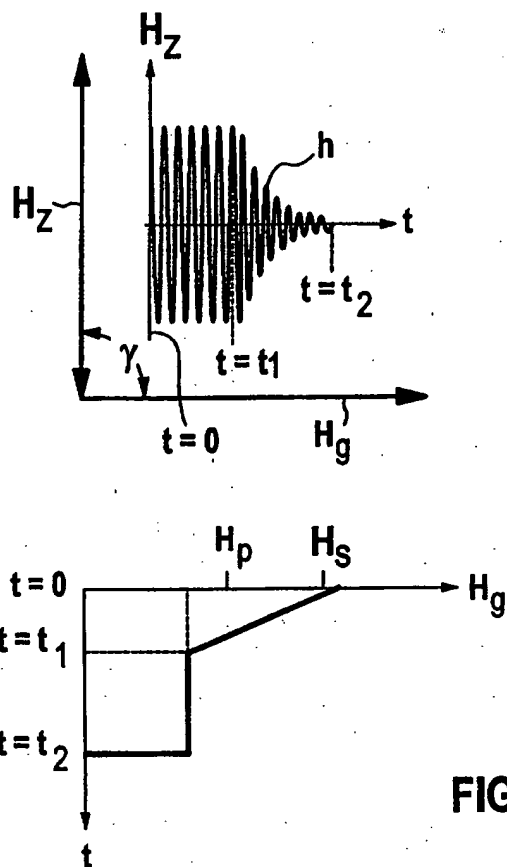
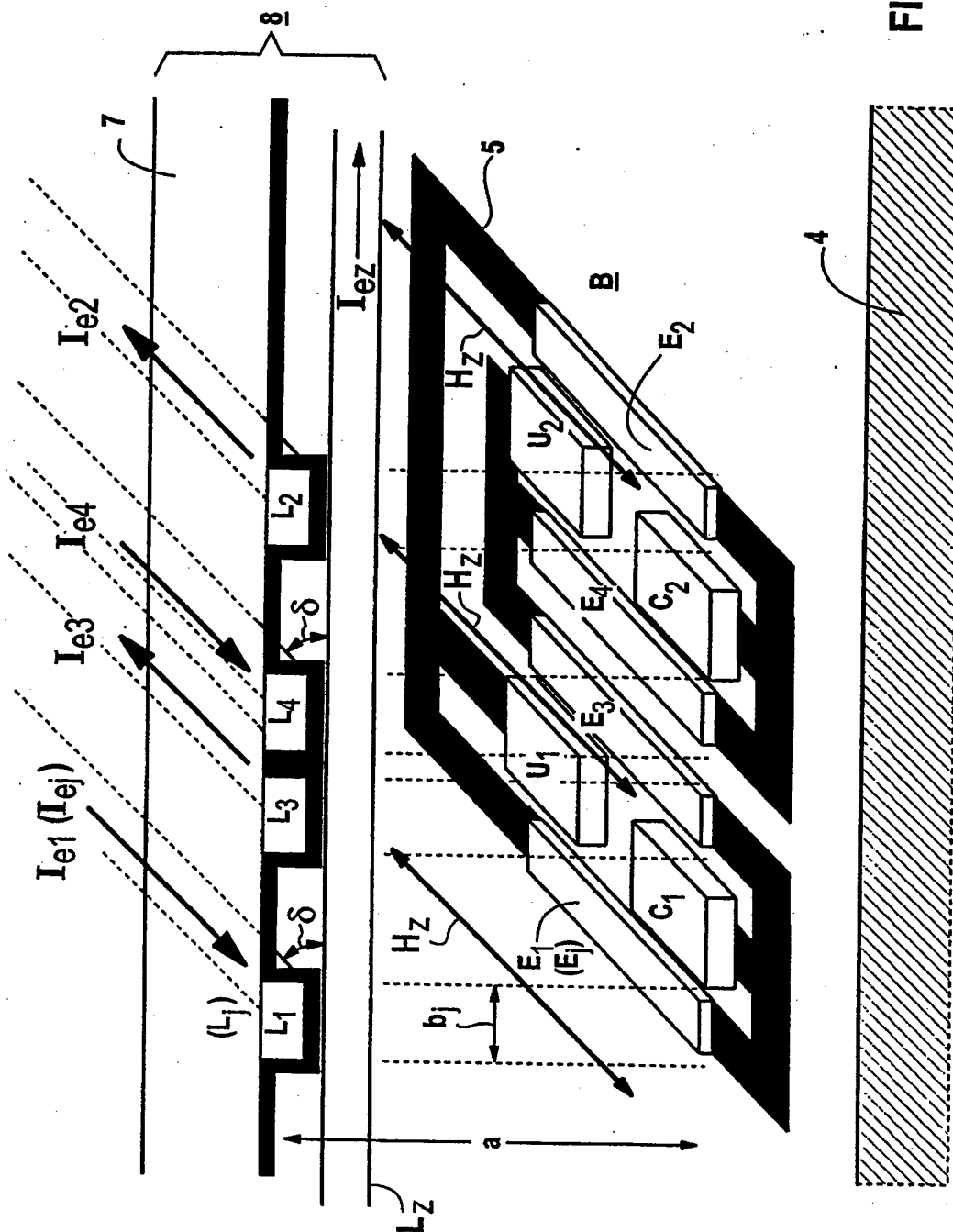
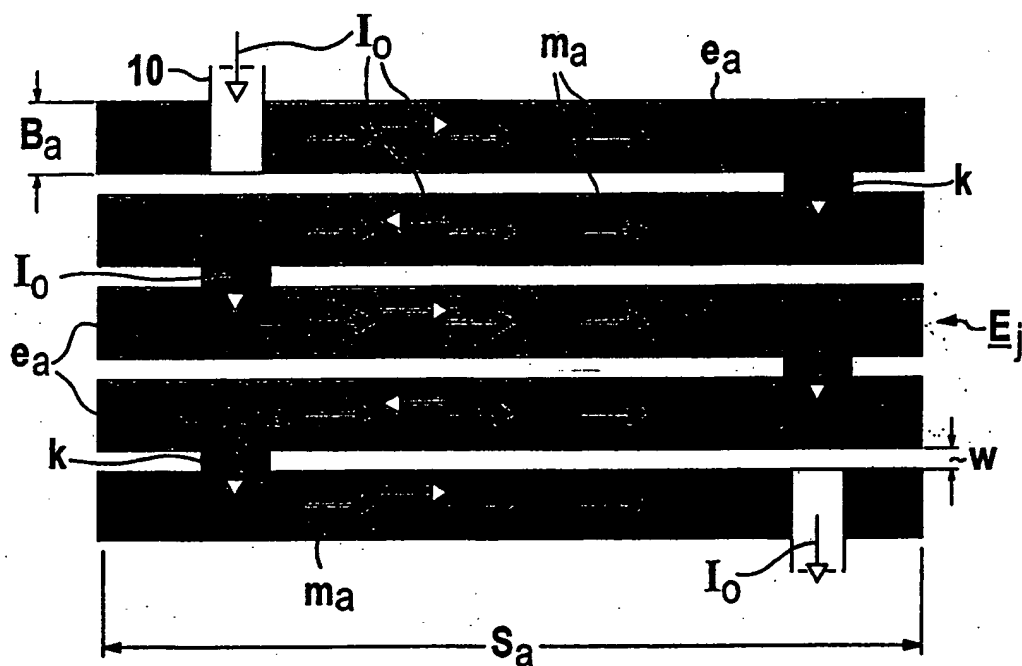


FIG 4





**FIG 6**

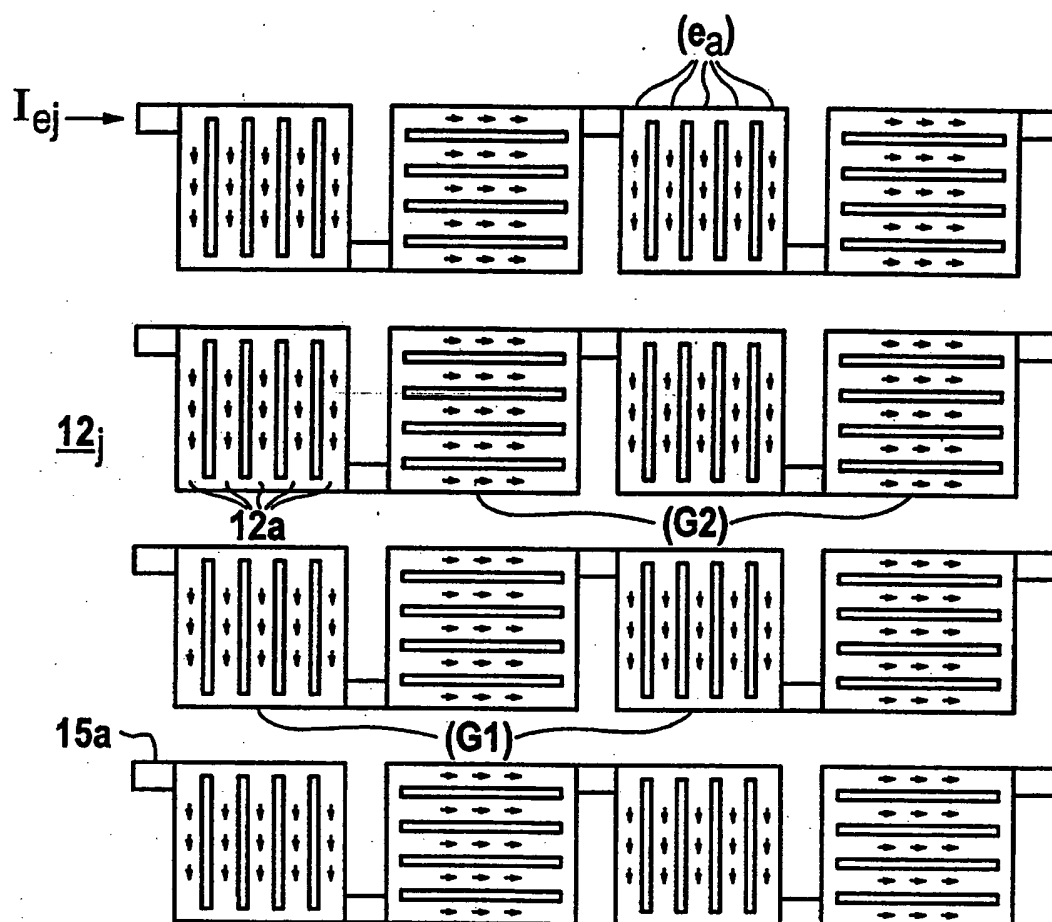


FIG 7



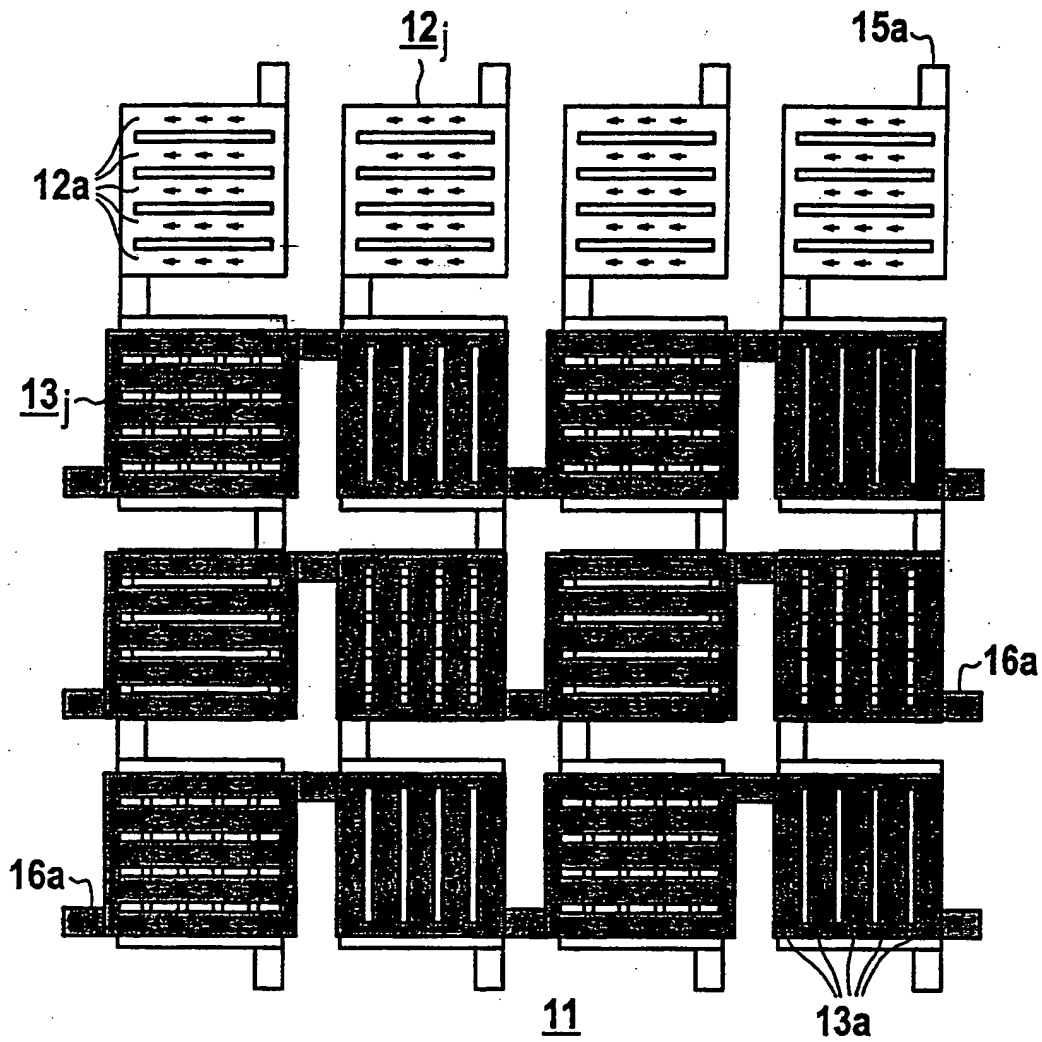


FIG 8

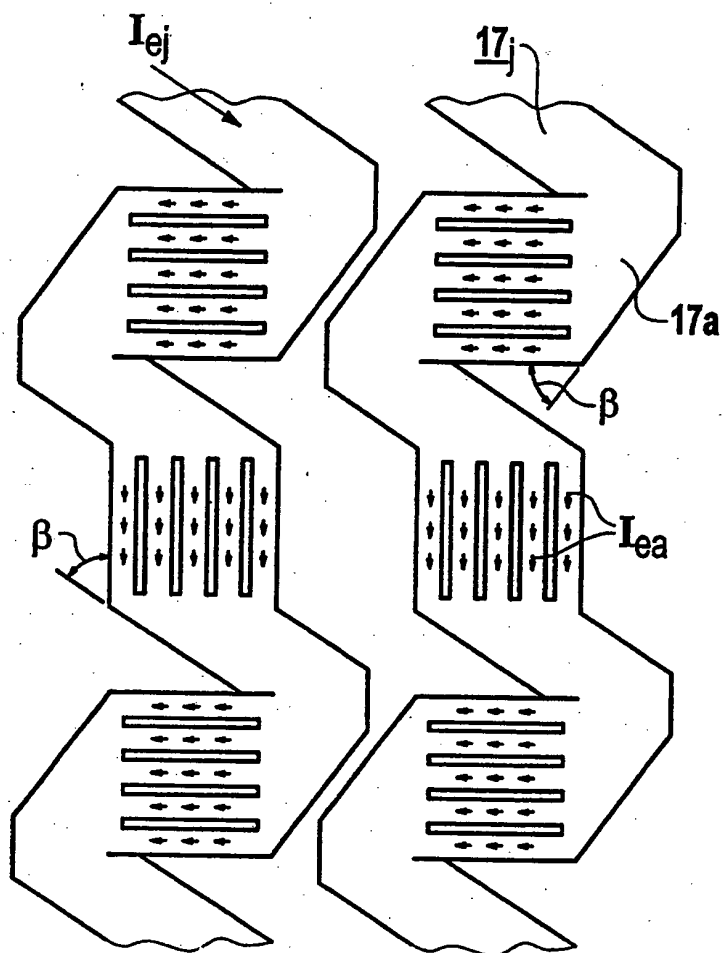


FIG 9

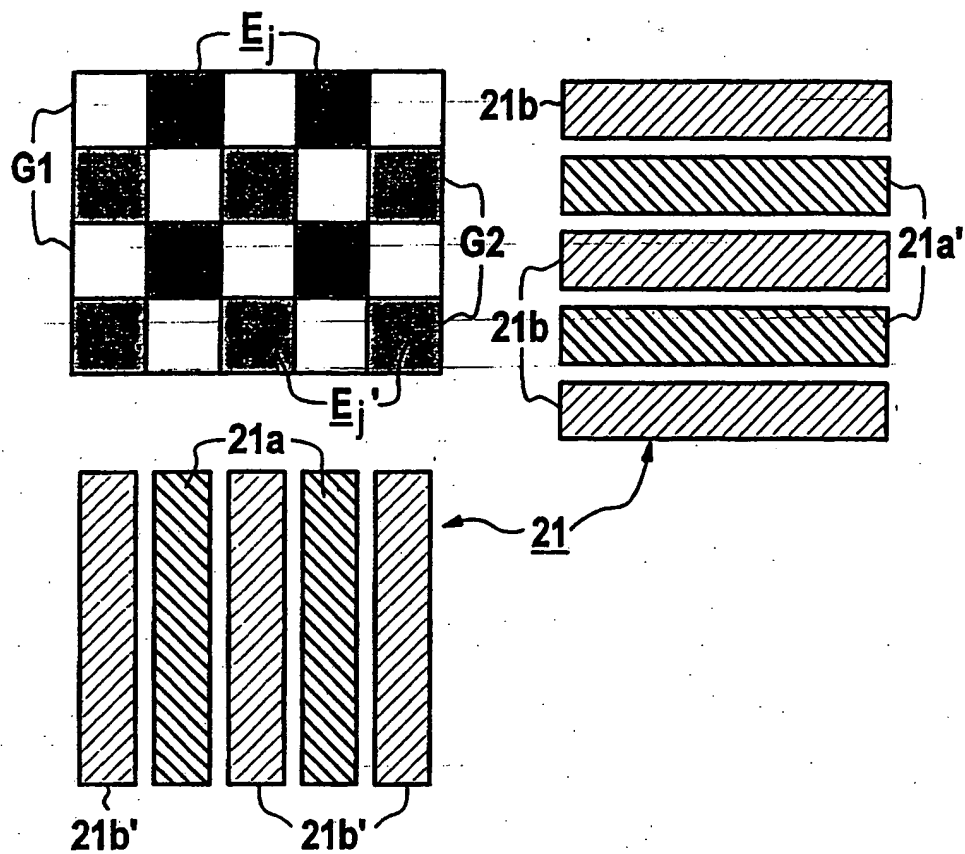


FIG 10

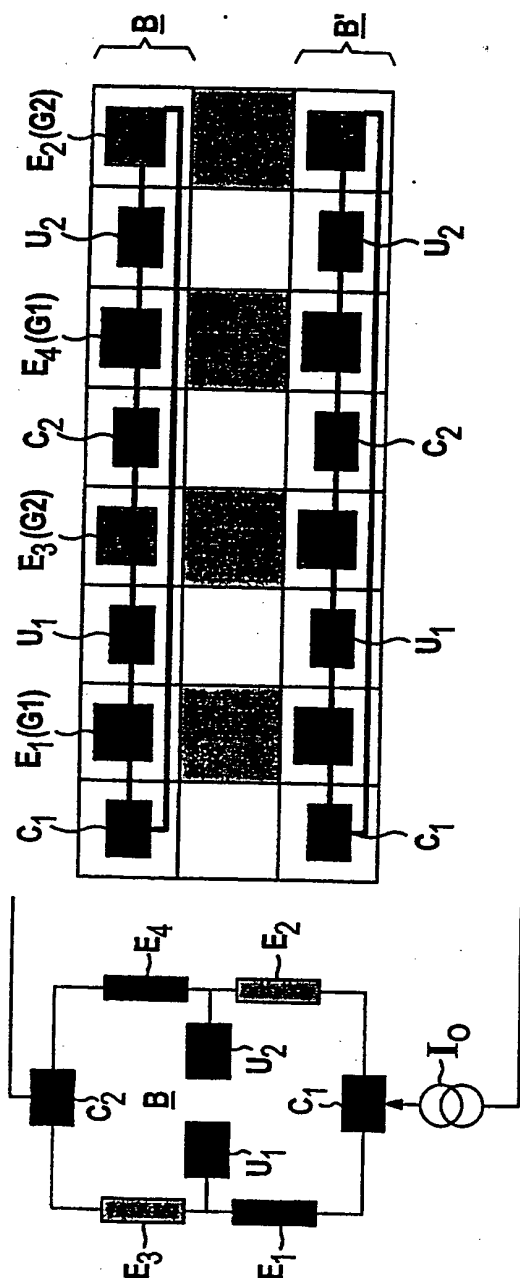


FIG 11